

초정밀 나노 분급기 개발에 관한 연구

성백섭*, 윤길하⁺, 차용훈⁺⁺

A Study on the Development of the Superprecision Nano Separator

Back-Sub Sung*, Kil-Ha Yun⁺, Yong-Hun Cha⁺⁺

Abstract

Nanotechnology is the creation and utilization of materials, devices, and systems through the control of matter on the nanometer-length scale, that is, at the level of atoms, molecules, and supramolecular structures. The essence of nanotechnology is the ability to work at these levels to generate larger structures with fundamentally new molecular organization. These nanostructures, made with building blocks understood from first principles, are the smallest human-made objects, and they exhibit novel physical, chemical, and biological properties and phenomena. The aim of nanotechnology is to learn to exploit these properties and efficiently manufacture and employ the structures.

Control of matter on the nanoscale already plays an important role in scientific disciplines as diverse as physics, chemistry, materials science, biology, medicine, engineering, and computer simulation.

This paper describes the superprecision nano separator to productive particle size of nano powder. this separator system is very important in the industrial area for other high technology parts.

Key Words : Superprecision(초정밀), Micron(미크론), Separator(분급기), nanotechnology(나노기술), nanoscale(나노크기), nanostructure(나노구조)

* 성백섭, 목포대학교 기계선박해양공학부
(sbsung@mokpo.ac.kr)

주소: 534-729 전남 무안군 청계면 도림리 산 61번지

+ 동영기공(주)

++ 조선대학교 기계공학과

1. 서론

최근 첨단과학의 발전에 의해 공업기술의 향상과 더불어 각 분야에서 새로운 재료와 제조방법에 관한 관심이 매우 고조되고 있다. 인류에 역사상 가장 위대한 발견이 불의 발견이라면 또 하나의 위대한 발명은 분쇄, 분급 기술이라고 할 수 있다. 분쇄, 분급 기술이 발달할수록 식품과 의약품, 그리고 각종 화공약품과 전자 광물질 등 산업 전 분야에 걸쳐서 비약적인 발전을 이루었기 때문이다. 첨단 제조 기술로서 주목되고 있는 초미분분말 제조 방법으로서 종래 방법으로 불가능한 크기의 성분을 갖는 분말재료의 제조가 가능하여 고성능 재료 개발이나 원료제조에 응용되고 있다. 또 에너지 절약, 제조과정중 재료손실의 최소화, 생산비절감 등에서 우수한 장점을 갖고 있다. 초미분 분말제조에 있어서 국내의 수준은 $20\mu\text{m}$ 정도로 그 기술면에 있어서 취약한 부분이다. 한 예를 보면 국내의 풍부한 재료를 수출하고 국외에서 제처리하여 역수입하고 있는 실정이다. 특히 $0.5\sim 20\mu\text{m}$ 범위의 초미크론 분말입자 생산은 전무한 실정이다. 현재 사용하고 있는 국내의 제품들은 전부 원료를 수입하고 있다고 해도 과언이 아니다. 따라서 초미분분말 개발과 제조에 있어서 필요한 분말의 공정을 단축하여 생산성과 경제성을 향상시키기 위한 연구개발이 미국, 일본, 독일 등 선진국에서 활발히 진행되고 있다. 분말제조 기술의 응용분야는 기계공업을 중심으로 하여 원료제조업체, 화장품, 섬유재료, 프린터산업 등 그 범위가 광범위하여 이러한 초미분 분말 입자 생산에 시급히 기술을 업그레이드 할 필요성이 절실하다 하겠다. 분말로 만드는 기술로서 제조방법에 따라서 분말의 여러 가지 특성이 변하기 때문에 응용분야, 경제성, 생산성을 고려하여 공정기술을 달리하여야 한다.¹⁻⁴

산업적으로는 초정밀 분말 및 경제성 등의 장점을 이용한 고순도 초미크론 분말 재료기술의 탁월한 성분 및 제어 능력을 활용하여 기존의 재료기술로 제조하기 어려운 새로운 특성을 갖는 고성능 원료의 개발에 활발히 이용되고 있다. 이러한 고성능 원료의 개발의 핵심은 초정밀 미크론 미분 분급기가 핵심으로서 그 응용범위와 광대다, 부식방

지용도료, 분체도료, 건축용 도료, 실리콘라바, 세라믹, 에폭시컴파운드, 고온단열인슐레이션, 연마제 및 실란트제조에 있어서 품질의 향상에는 초정밀 분말을 이용하면 보장받을 수 있다. 미립자 분급기는 대한 세라믹 6대, 한국화학 3대, JS Tec 8대, 유니언 세라믹 4대 및 태백신소재 4대 등 많이 활용하고 있으며, 연간 수입이 원료제조업체인 화장품, 섬유재료, 카트리지 및 잉크 등에서 활용하고 있으며 그 범위가 방대하여 제작과 동시에 수입대체효과는 실로 엄청나다 할 수 있다.

식품산업의 경우 가공기술이 전문화되면서 안정성과 영양가치를 동시에 확보할 수 있다. 특히 섬유질이 많은 한약재의 경우 편의성을 살리면서도 맛과 영양 면에서 고급화를 지향하게 되었다. 화공, 도료, 화장품 등의 분야도 예외는 아니다. 고체의 혼합율이 높아지면서 분체의 색상을 개선하고 추출, 용해, 흡착 능력 등을 향상시키는 가공할 만한 효과를 가져온 것이다.

세계적인 조류로 볼 때 분쇄, 분급은 그 중요성이 더욱 강조되고 있으며 이미 선진국의 분체 기술은 이미 초미분 ($1\mu\text{m}$ 이하) 이하 까지 미치고 있고⁵⁻⁶, 새로운 자원을 이용한 극 미세분말의 발달로 고부가가치를 창조하고 있습니다. 하지만 안타깝게도 대부분의 국내 기술은 걸음마 수준을 겨우 벗어난 것이 현실이다.

따라서 앞으로 국외에서 기술적 우위를 달리고 있는 외국업체들이 국내의 시장 점유율은 더욱 높아 질 것으로 예상되고 있어 이에 초정밀 미크론 단위급 제품 생산을 위한 초정밀 미크론 분급기 개발은 시급한 실정이다. 본 논문은 스크린으로 곤란한 미분, 초미분의 분급을 효율적으로 샤프하게 행할 수 있는 장치를 개발하는데 있으며, 제어기에서 원하는 미크론 단위의 숫자대로 크기를 세분화하여 자유자제로 분별할 수 있는 분급기를 개발하여 현재 국내에서 확보하지 못한 최첨단 분급기를 개발하는데 있다.

2. 나노분말의 제조기술

나노분말의 제조공정에 대한 분류는 아직까지

완전히 체계화되어 있지 않지만 원료의 상에 따라 기상합성법, 액상합성법 및 고상합성법으로 분류된다.^{7~11}

Table1. Synthesis techniques for nanostructured materials

	Starting Phase	Techniques
Solid Phase Synthesis	Solid	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanical alloying • Ball mill • Sliding wear • Spark erosion
Liquid Phase Synthesis	Liquid	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodeposition • Rapid solidification • Sol-gel process • Hydrothermal pyrolysis
Gas Phase Synthesis	Vapor	<ul style="list-style-type: none"> • Inert gas condensation • Combustion flame process • PVD, Sputtering and CVD • Chemical vapor condensation

고상합성법은 주로 금속분말 제조에 이용되며, 고상물질의 분쇄와 연마를 통해 분말을 제조하는 공정이다. 대표적으로 전통적 분말야금법인 볼밀(ball milling)이나 기계적합금화(mechanical alloy)법을 들 수 있다. 볼밀이나 기계적합금화법은 대량생산이 가능하여 현재 산업적으로 많이 응용되고 있으나, 수십나노미터 이하의 극미세한 입도를 갖는 분말제조가 어렵고, 불이나 용기로부터 다량의 불순물 혼입이 불가피한 단점이 있다. 또한 제도된 분말의 경우 심하게 응집되어 있어 응용단계에서 분산제어가 불가능하다.

액상합성법은 산화물과 같은 세라믹 분말의 제조에 주로 이용되며, 액상으로부터 반응, 침전을 통해 분말로 제조하는 공정이다. 액상합성법은 타 공정에 비해 경제적이고 대량생산이 용이하므로 산업적으로 널리 응용되고 있다. 그러나 액상법으로 제조된 분말은 나노크기를 갖는 1차입자가 고리형 응집체인 2차입자를 형성하므로 후속 분쇄 및 분산 공정이 요구된다. 또한 세척단계에서 불순물을 완전히 제거하기가 불가능하고, 공정중에 유해한 부산물이 다량 발생하므로 환경적인 측면에서 불리하다.

3. 초미크론 나노 분급기의 구성

Fig. 1의 구성도는 초미분 분쇄기의 플랜트 구성도이다. 기존의 국내기술 수준은 20 μ m정도 였으나 개발하고자 하는 초미크론 다용도 나노 분급기는 더욱 세분화하여 20 μ m이하급 분말을 자유로이 크기별로 제조되게 설계하였다. 이원리는 회전날개를 이용하여 비중의 크기에 따른 선별이 가능하게 되어 설계되어 있다. 기존의 분급기는 분리된 분말에 미분말부터 중간크기의 미분말이 섞여 있어 원료로서 상품가치가 떨어지며, 이 분말을 이용할 경우 제품의 제조에 있어서 신뢰성과 상품가치가 현저히 떨어진다. 따라서 현재 국내기술 수준의 미약으로 원료를 수출하고 가공된 재료를 역 수입하는 이러한 악순환의 피해를 막기 위하여 초정밀 미크론 분급기 개발은 시급한 실정이다. 아래의 구성도는 AL(OH)₃ 분쇄 플랜트 예를 공정별로 도시한 것이다.

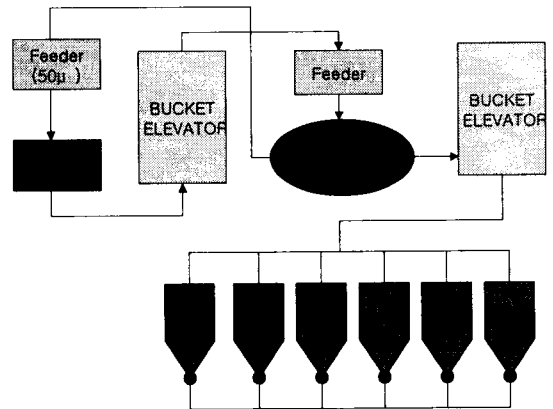


Fig. 1 Schematic diagram of separator system

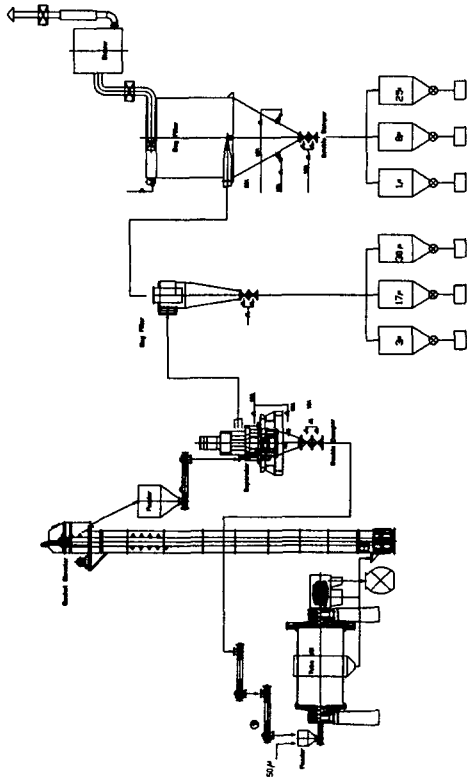


Fig. 2 Plant flow chart of $Al(OH)_3$

이러한 초정밀 미크론 분급기를 개발을 위해 제품의 모터, 로터, AIR QUANTITY, CAPACITY, MACHINE SPEC.의 사양은 저가 형태로 제작하였으며, 능력 및 성능은 배가 하여 최적의 초미크론 단위급 분급기를 개발하였다.

Fig. 3과 Fig. 4의 그림에서와 같이 각 구성품의 요소를 보면 개발에 앞서 분급원료가 원료투입구로 투입되고, 분급로터의 윗면의 분산판에 확산되는 현상도 잘 이용해야 한다. 이에 따른 핵심 부품 개발 및 프로세싱 점검에 심도를 기울여야 한다. 구성되는 주요 구성품들은 베어링, 외기투입구, 부유인펠라, casing, gear box, pulley, 오일 주유구, 초정밀 미크론 제품 outlit, 2차부유기 인펠라, 풀리, 기어박스, 1차 부유기 인펠라, 가이드변, 모터, over size 배출구, 외기투입구 및 점검구 분급 원료투입

구로 부유 인펠라에서 초정밀 미크론 입도를 분리하게 된다.

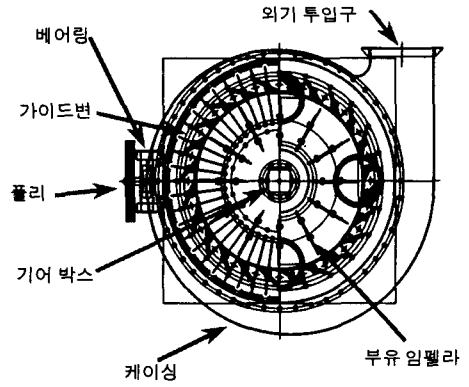


Fig. 3 The bottom side diagram of superprecision micron nano separator

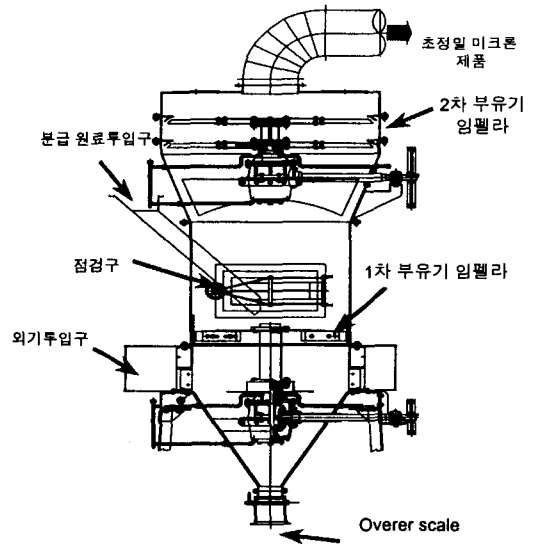


Fig. 4 The front side diagram of superprecision micron nano separator

4. 분급된 입자 분석

1차 입도 분리에는 분쇄기에서 분쇄한 원료를 원하는 입도로 분리를 하는 설비이며 입도 분리는 분쇄된 원료를 정량 공급하여 1차 부유 임펠라에 의해 분리를 한다. 이때 최상의 입도 분리를 위하여 1차 부유 임펠라의 회전을 인버터로 변속시키며 가이드변의 각도를 조정하여 1차 입도 분리를 한다. 초정밀 입도 분리하고자 할 때는 1차 부유 임펠라 및 가이드 변에 의해 분리된 입도를 2차 부유 임펠라에 의해 초정밀 입도 분리되도록 하였다. 이렇게 하여 2차 부유 임펠라에 의해서 분급된 초정밀 마이크론 초미립자를 백 필터에 의해 포집하여 제품화하고 분급기에서 입도 분리과정시 오버 사이즈는 리턴 시켜 분쇄기에서 재분쇄후 분급기에 재투입 시켜 입도 분리하도록 하였다.

또한 분급기의 생산량을 정밀 분석하기 위하여 실험을 실시하였다. 분급기의 효율을 높이기 위하여 임펠라의 회전수를 변화시켜 미분에 대한 회수율을 측정 한 결과 회전수가 800rpm에서 회수율이 72.02%로 나와 시간당 미분 생산량을 증가시킬 수 있었다.

Fig. 5, Fig. 6에서 보는 것과 같이 미분 및 조분에 대한 크기를 볼 수 있으며, 조분의 크기는 풍량, 임펠라의 회전수, 가이드변의 각도 등의 변화에 따라 재 분쇄 후 미분으로 되도록 하였다.

Table 2. The recovery factor by rotation variation

Air flow NM3/min	Rotation rpm	Particle (kg)	Coarse powder (kg)	Recovery factor (%)
23	1000	9.8	6.6	59.76
23	800	12.1	4.7	72.02
23	560	6.6	6	52.38

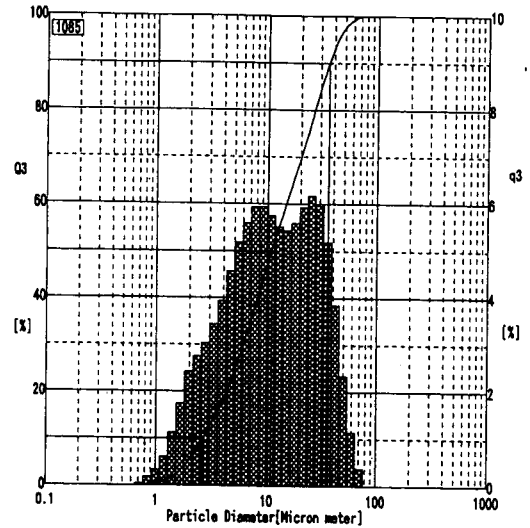


Fig. 5 Small particle size by the separator machine

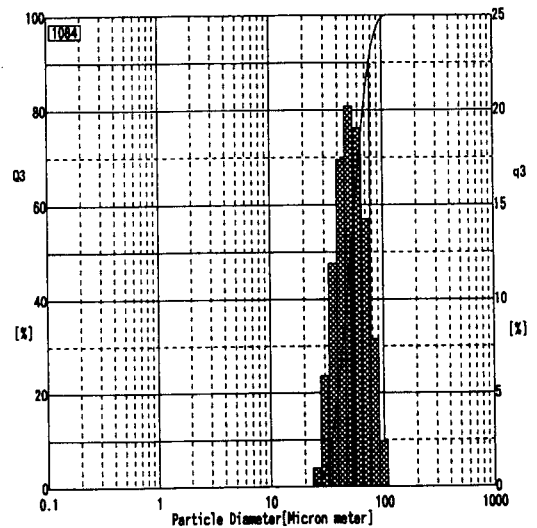


Fig. 6 large particle size by the separator machine

Fig. 7은 일정시간 동안 초미크론 단위급 분말 입자의 생산량을 측정한 도표로서 $5\mu\text{m}$ 이하급 생산이 집중됨을 알 수 있으며 $20\mu\text{m}\sim 60\mu\text{m}$ 은 재처리 시스템에 의해 계속해서 초미크론 단위급으로 생산하게 된다.

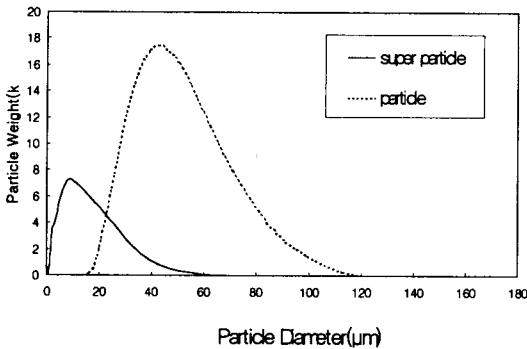


Fig. 7 Recovery weight of super particle size powder

5. 결론

초정밀 나노 분급기에 대한 연구로 $0.1\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 범위의 분말입자를 대량생산할 수 있는 시스템을 개발할 수 있었다.

초미크론 나노 분급기는 투입 원료를 분산판에 의해 비산되며, 비산된 원료는 초미분 분급기에서 기류 분급함으로서 로터 회전에 의해 발생 기류가 가이드면 사이에서 와류가 발생되도록 하였다. 로터의 원심력 기류와 가이드면 사이의 와류에서 분리된 초미립자는 섹션 에어에 의해 공기이송을 하여 사이클론이나 백 필터에서 포집되어 제품화되도록 하였다. 또한 로터 회전에 의해 발생한 원료가 혼합된 기류가 원심력에 의해 가이드면에 부딪쳐 향심력에 의해 분급기 하부로 떨어져서 분급입자가 큰 것은 리턴 되어 다시 분쇄기로 보내어져 정밀 분급이 이루어지도록 하였다.

참고문헌

1. Siegel R. W., 1994, "NanoStructured Materials," 4(1), pp. 121.
2. C. J. Brinker and G. W. Schere, "Sol-Gel Science," Academic Press, New York, 1990
3. Hinds W. C., 1982, "Aerosol Technology," John Wiley and Sons Inc., New York, pp.233.
4. Siegel R. W., Hu E. and Roco M. C., 1999, "Nanostructure Science and Technology-R&D Status and Trends in Nanoparticles, Nanostructured Materials, and Nanodevices," Dordrecht, Kluwer.
5. Soong R.K., Bachand G.D., Neves H.P., Olkhovets A.G., Craighead H.G. and Montemagno C.D., 2000, "Powering an inorganic nanodevice with a biomolecular motor," Science 290, 1555-1588.
6. Gutmanis, Ivars, 1999, "Probability of the nanotechnology manufacturing processes in the industrial nations in 2015-2025 time period. Report of Hobe Corporation.
7. Dunin-Borkowski, R.E., M.R. McCartney, R.B. Frankel, D.A. Bazylinski, M. Posfai, and P.R. Buseck. 1998, "Magnetic microstructure of magnetotactic bacteria by electron holography," Science 282:1868-1870.
8. Dzegilenko F., Srivastava D. and Saini S., 1999 "Nanoscale Etching and Indentation of Silicon (111) Surface with Carbon Nanotube Tips", Nanotechnology, Vol. 10, pp.253.
9. C.W. Bauschlicher, A. Ricca, and R. Merkle, 1997 "Chemical Storage of Data", Nanotechnology, Vol. 8, pp. 1-5.
10. C.W. Bauschlicher and M. Rosi, 1998 "Differentiating Between H or F and CN on C(111) of Si(111) Surfaces", Journal of Physical Chemistry B, Vol. 102, pp. 2403-2405.
11. Bai, C.L. 1998. Nanotechnology in China, J. Aerosol Sci. 29, pp. 751-755.